

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta mechatroniky a mezioborových inženýrských studií

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2007

Zdeněk Herda

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta mechatroniky a mezioborových inženýrských studií

Studijní program: B 2612 Elektrotechnika a informatika

Studijní obor: 2612R011 Elektronické informační a řídicí systémy

**Realizace hardwarového a softwarového vybavení
šestinohého mobilního robota**

**Realization of hardware and software equipment
for six-leg mobile robot**

Bakalářská práce

Autor bakalářské práce: **Zdeněk Herda**

Vedoucí bakalářské práce: Doc. Ing. Mgr. Václav Záda, CSc.

Konzultant bakalářské práce: Ing. Pavel Pírk

Rozsah práce a příloh

Počet stran textu: 40

Počet obrázků: 29

Počet tabulek: 2

Místo tohoto listu tu bude originální zadání s
podpisy

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta mechatroniky a mezioborových inženýrských studií

Hálkova 6, 461 17 Liberec 1

Anotace

Tato práce se zabývá úpravou existující konstrukce, návrhem řízení a použitím senzorů pro šestinohého mobilního robota s ohledem na zadané úlohy. Je to úloha sledování čáry a úlohy vyhýbání překážkám. Robot by měl tyto úlohy vykonávat autonomně, to znamená bez nutnosti zásahu člověka.

K řízení robota je použit mikroprocesor C8051F410. Jako senzory jsou použity taktilní senzory, infračervené senzory CNY70 a byly prozkoumány možnosti ultrazvukového dálkoměru SRF05.

Annotation

This thesis is about modification of existing construction, control design and using sensors for six-leg mobile robot with reference to ordered tasks. Tasks are line following and avoiding barriers. Robot do this tasks autonomically. It means without human control.

Control device of robot is microcomputer C8051F410. As sensors are used tactile sensors, infrared sensors and researched possibilities of ultrasonic distance meter SRF05.

Prohlášení

Byl jsem seznámen(a) s tím, že na mou diplomovou práci (DP) se plně vztahuje zákon č. 121/2000 o právu autorském, zejména §60 (školní dílo).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé DP a prohlašuji, že **souhlásím** s případným užitím mé DP (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědom(a) toho, že užití své DP, či poskytnutí licence k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

Diplomovou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum: 13. května 2007

Podpis:

Poděkování

V první řadě bych chtěl poděkovat vedoucímu této práce panu Doc. Ing. Mgr. Václavu Zádovi, který směřoval mé kroky ke zdárnému cíli této práce. Dík patří také panu Ing. Pavlu Pirklovi za rady při návrhu elektroniky, vytváření programu a za poskytnutí pracoviště.

Obsah

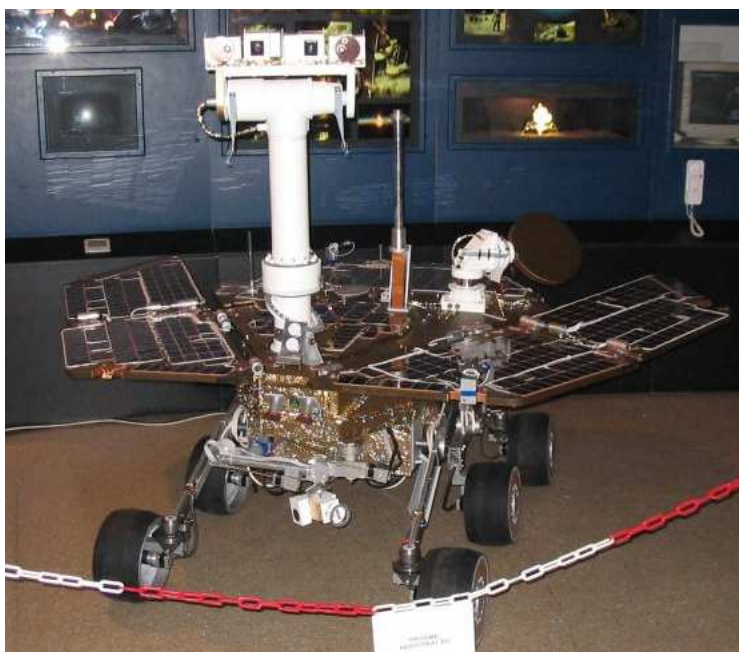
1	Úvod	8
1.1	Co je to robotika, robot a uplatnění robotů	8
1.2	Obsah práce	9
2	Motorický systém	10
2.1	Mechanika robota a její úpravy	10
2.2	Stručný popis původní konstrukce	10
2.3	Úprava mechaniky	11
2.4	Zhodnocení varianty a další možnosti	13
2.5	Servomotory - řízení a parametry	14
2.6	Akumulátor	15
3	Senzorický systém	16
3.1	Použití a rozmístění senzorů	16
3.2	Ultrazvukový dálkoměr	16
3.3	Optické senzory	18
4	Kognitivní systém	21
4.1	Krátký popis procesoru	21
4.2	Napájení procesoru	22
4.3	Programování procesoru	22
4.4	Časovače a jejich použití	22
4.5	Přerušení	23
4.6	I/O porty	23
4.7	Vnitřní oscilátor	26
4.8	Základní deska robota	26
5	Úlohy pro robota	27
5.1	Úloha vyhýbání překážkám	27
5.1.1	Podmínky pro úspěšné provedení úlohy	27
5.1.2	Popis první verze úlohy	27
5.1.3	Popis druhé verze úlohy	29
5.1.4	Porovnání obou verzí	30
5.2	Úloha sledování čáry	30

5.2.1	Podmínky pro úspěšné provedení úlohy	30
5.2.2	Popis úlohy	30
6	Závěr	33
7	Přílohy	34
7.1	Schemata	34
7.2	Kompletní robot	37
7.3	Příloha na CD	39
	Seznam použité literatury	40

1 Úvod

1.1 Co je to robotika, robot a uplatnění robotů

Robotika je oblast vědy zabývající se problematikou robotů. Jejich mechanickou konstrukcí a řízením. Je to jedna z nejperspektivnějších oblastí budoucnosti. Uplatnění robotů je již v této době velmi široké a do budoucna se s roboty budeme setkávat stále častěji. Až do nedávna to byla hlavně robotická ramena používaná ve výrobních linkách, ale dnes se objevují i mobilní roboty s vlastním (dále autonomním) řízením. Například hlídací roboty, autonomní vysavače (obr. 2) nebo dokonce robotické hračky. Další možnosti uplatnění jsou v medicíně. Mohou to být zařízení, která se využívají k náročným chirurgickým operacím. Široce se uplatňují v současné době také při náhradách končetin, kde jsou propojována s nervy nebo šlachami. Své zastoupení mají i v kosmonautice. Jsou to manipulační ramena raketoplánu, vesmírných stanic a různé autonomní moduly pro sběr vzorků a průzkum jiných planet (obr. 1).



Obrázek 1: Robot MER dopravený na Mars sondou Spirit a Opportunity



Obrázek 2: Čistící robot firmy Tchibo

Kde se tedy vzalo slovo robot. Původem české slovo je výtvozem významného literárního autora Karla Čapka a postupně se stalo světovým výrazem, kterým se nazývá zařízení skládající se z těchto částí. Z mechanické části (motorický systém), senzorů (senzorický systém) a řídicího systému (kognitivní systém). Motorický systém zahrnuje veškerou mechaniku robota. Ramena, nohy, podvozek, . . . atd. Senzorický systém umožňuje robotu vnímat okolí. Používají se nejrůznější senzory. Nárazové spínače, tlaková čidla, optické snímače, ultrazvukové dálkoměry, kamery, laserové snímače. . . Kognitivní systém je mozek celého robota. Zpracovává informace od senzorů a na jejich základě vykonává nějakou činnost.

1.2 Obsah práce

Úkolem této práce je upravit existujícího šestinohého mobilního robota po hardwarové i softwarové stránce tak, aby byl schopen plnit úlohu sledování čáry, vyhýbání překážkám a unesl vlastní zdroj energie. Úpravy spočívají v přepracování jeho mechanické části tak, aby mohla být realizována nová myšlenka pohybu a bylo možné robota osadit potřebnými senzory. Díky těmto úpravám unese i vyšší zátěž. Z řídicí elektroniky nebylo použito nic. Celý řídicí obvod je navrženo nově s ohledem na požadavky zadání. Původní robot je popsán v diplomové práci Konstrukce a řízení minirobota od Daniela Vintery. Zde je pouze stručný popis pro porovnání.

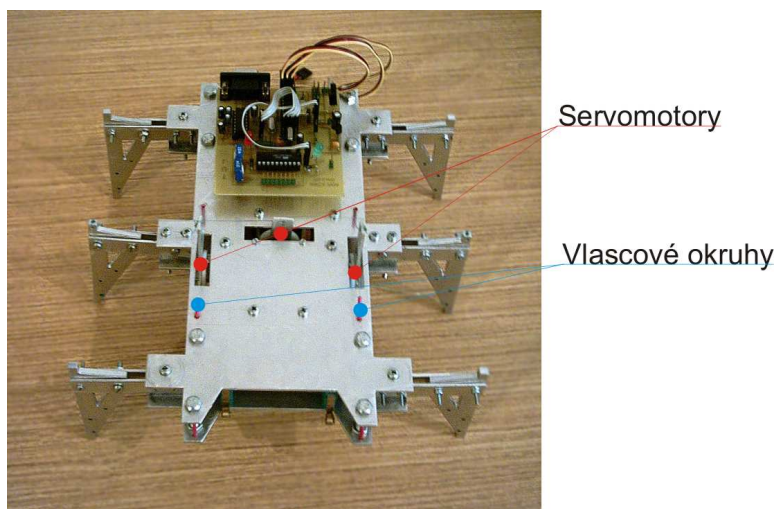
2 Motorický systém

2.1 Mechanika robota a její úpravy

Robot je šestinohý se třemi páry nohou. Pravým postranním párem, levým postranním párem a středním párem. Každý z nich je poháněn jedním servomotorem HS322 značky Hitec. Toto uspořádání nohou umožňuje následující pohyb. Střední pár nadzvedne jednu stranu robota a tím umožní přesunutí příslušného postranního páru nohou. Když jsou postranní páry přesunuty do polohy pro další krok, je střední pár vyrovnan, aby robot nebyl nadzvednut a oba postranní páry se společně přesunou do nové polohy. Opakováním tohoto cyklu je vytvořen pohyb vpřed.

2.2 Stručný popis původní konstrukce

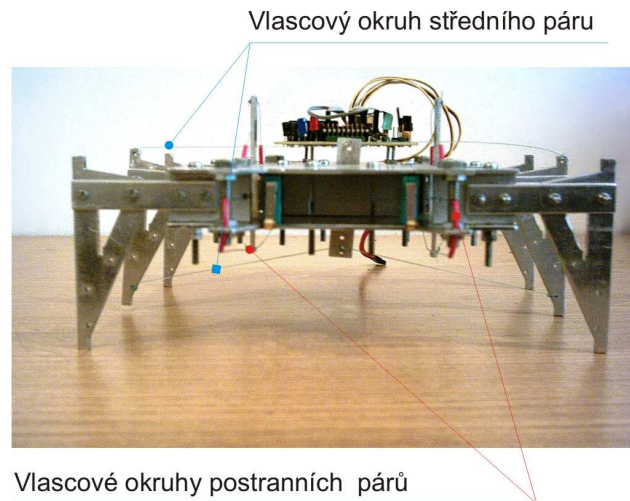
Tělo robota je obdélníkové ze dvou hliníkových plechů o tloušťce 2 mm pevně spojených šrouby 2 cm nad sebou. V prostoru mezi deskami byly vodorovně umístěny tři servomotory HS322 zajišťující pohyb. Dva po stranách a jeden uprostřed. Po obvodu těla je šest hliníkových nohou. Každá z nich má jeden stupeň volnosti (obr. 3). Pravému a levému páru je umožněn horizontální pohyb a střednímu páru



Obrázek 3: Původní robot 1

vertikální pohyb. Nohy jednoho páru se přesouvají současně. Síla od serva byla na postranní páry přiváděna pomocí okruhu tvořeného vlasem. Vlasec byl ve-

den bužírkami provléknutými otvory v těle robota. Podobný okruh byl použit i na střední pár nohou (obr. 4). Toto řešení se ukázalo z hlediska tuhosti a velkých ztrát

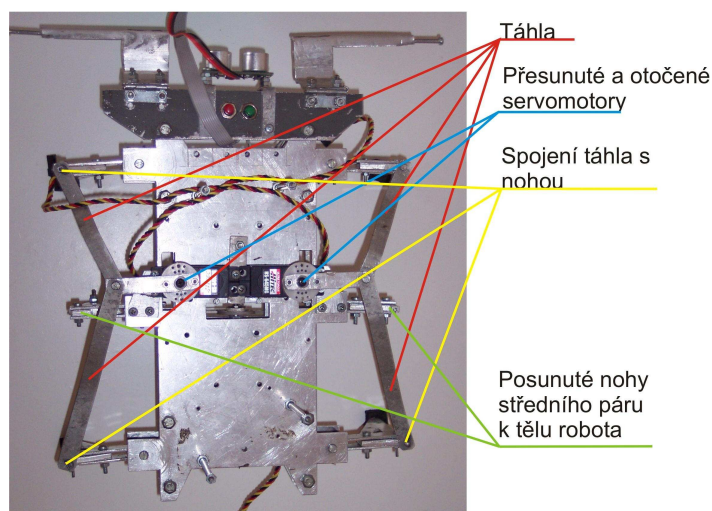


Obrázek 4: Původní robot 2

třením vlasce v bužírkách nedostačující. Všech šest nohou robota bylo v kontaktu s podložkou, což v případě středního páru není žádoucí, protože třením o podložku brání v pohybu.

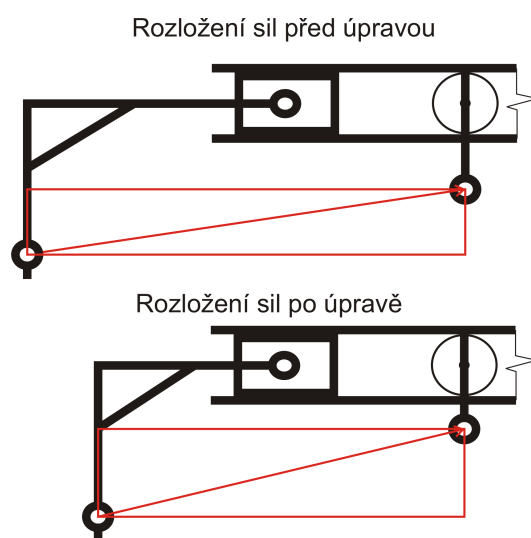
2.3 Úprava mechaniky

Úprava mechaniky spočívá v přesunutí postranních servomotorů více ke středu a v jejich otočení do vertikální polohy (obr. 5). To umožňuje k servomotoru připevnit táhla, která jsou volně spojena s horním koncem každé nohy příslušného páru (obr. 5). Protože síla původních servomotorů nestačila k plynulému pohybu upraveného robota, byly vyměněny za silnější model HS645MG.



Obrázek 5: Upravená mechanika

U středního páru je řešení obdobné s tím rozdílem, že servo nebylo třeba přemísťovat. Táhla jsou s každou nohou volně spojena co nejnižší a nohy jsou přiblíženy k tělu robota (obr. 6). Tím se dosáhlo co největší vertikální složky síly



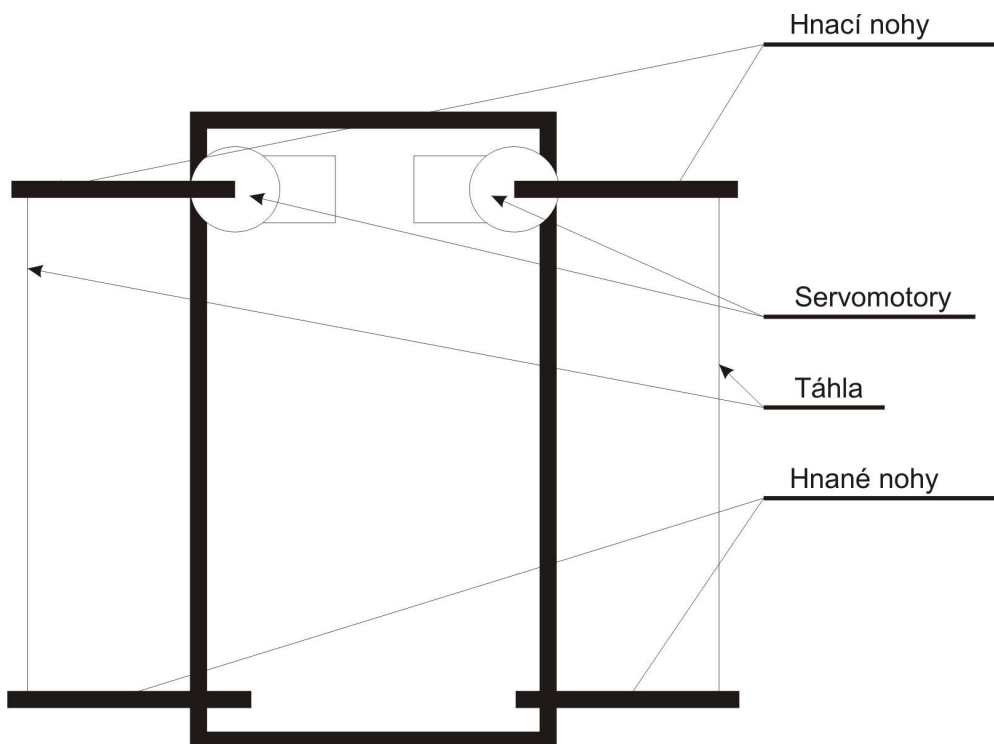
Obrázek 6: Úprava středního páru nohou a změna silových poměrů

od serva a snížila se horizontální složka, která je zbytečná. Tření středního páru o podložku je odstraněno snížením nohou robota (obr.4), takže jsou při pohybu přibližně 3 mm nad podložkou. Aby se robot při nadzvedávání nepohyboval do stran, je styčná plocha nohou s podložkou zakulacena. Nohy postranních párů jsou opatřeny gumovými návleky, aby při chůzi neprokluzovaly.

2.4 Zhodnocení varianty a další možnosti

Takto řešené přenášení síly od servomotorů je dostatečně tuhé a v případě středního páru zcela vyhovující. Pro postranní páry má nevýhodu v tom, že je servomotor zbytečně zatěžován reakčním momentem od nohou, protože jsou táhla k servu připevněna přes páku. Bez páky by ale robot neměl dostatečný rozsah pohybu. Přední a zadní noha jednoho páru se navíc nepohybuje stejnou rychlostí, protože z důvodů daných předešlou konstrukcí, nemohou být táhla stejně dlouhá. Avšak rozdíl není nijak dramatický a pohyb ovlivňuje minimálně.

Dalším možným řešením je přesunutí postranních servomotorů zcela dopředu nebo dozadu a nohy robota v příslušných místech pevně spojit přímo se servomotorem a druhou nohu páru spojit jediným táhlem s hnací nohou (obr. 7). Tím by



Obrázek 7: Další varianta řešení

se odstranil problém se zbytečně velkým reakčním momentem od nohou a různých rychlostí nohou. Toto řešení jsem ale nezvolil, protože by nevycházelo z původního návrhu mechaniky. Robot by byl postaven od základu nový a to nebylo úkolem práce.

2.5 Servomotory - řízení a parametry

Použitý servomotor HS645MG (obr. 8)

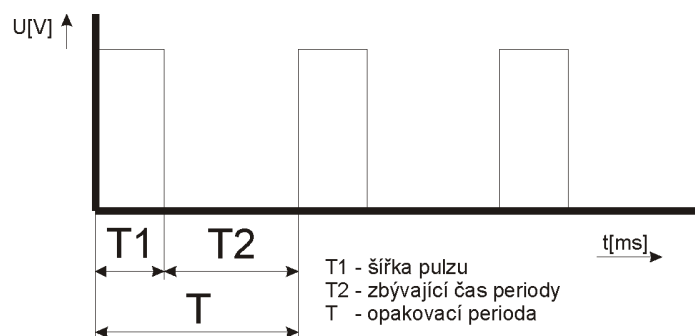


Obrázek 8: Servomotor HS645MG

má výrobcem udávané tyto parametry:

- moment: 77 Ncm/4,8 V, 96 Ncm/6 V
- servokonektory: Graupner/JR/Hitec
- rychlost: 0,23 s/60°/4,8 V, 0,18 s/60°/6 V
- rozměry: 40,6 x 19,8 x 40,1 mm
- hmotnost: 60 g
- maximální odběr bez zátěže: 500 mA
- prac. úhel otáčení: +- 45°
- rozsah šířky pulsu: 1 až 2 ms

Servomotory se řídí pulsně-šířkovou modulací (dále PWM) (obr. 9) o šířce impulsu T_1 1 - 2 ms a frekvencí ($1/T = \text{frekvence}$) 50 - 60Hz. PWM má frekvenci 55Hz. Šířky pulsů byly odhadnuty podle natočení servomotorů, protože odměřit úhly natočení servomotoru v závislosti na natočení nohou a z nich dopočítat šířky pulsů je obtížnější, než jejich odhad. PWM signál musí být do servomotoru posílán nepřetržitě, jinak servomotor ztratí sílu. V našem případě stačí PWM signál posílat jen tak dlouho, dokud se nohy nepřesunou do nové polohy. Takže při stávajícím principu chůze jsou potřeba vždy jen dva aktivní servomotory.



Obrázek 9: Příklad PWM

Servomotor je možno napájet napětím v rozsahu 4,8V - 6V. V našem případě je napětím +5V. Je velmi důležité dodržet správnou polaritu napětí, jinak může dojít ke zničení elektroniky servomotoru. Zapojení je: červená - +5V, černá - zem, žlutá - řídicí signál.

2.6 Akumulátor

Použitý akumulátor je typu Ni-Mh značky Shark (obr. 10) s kapacitou 1100mAh,



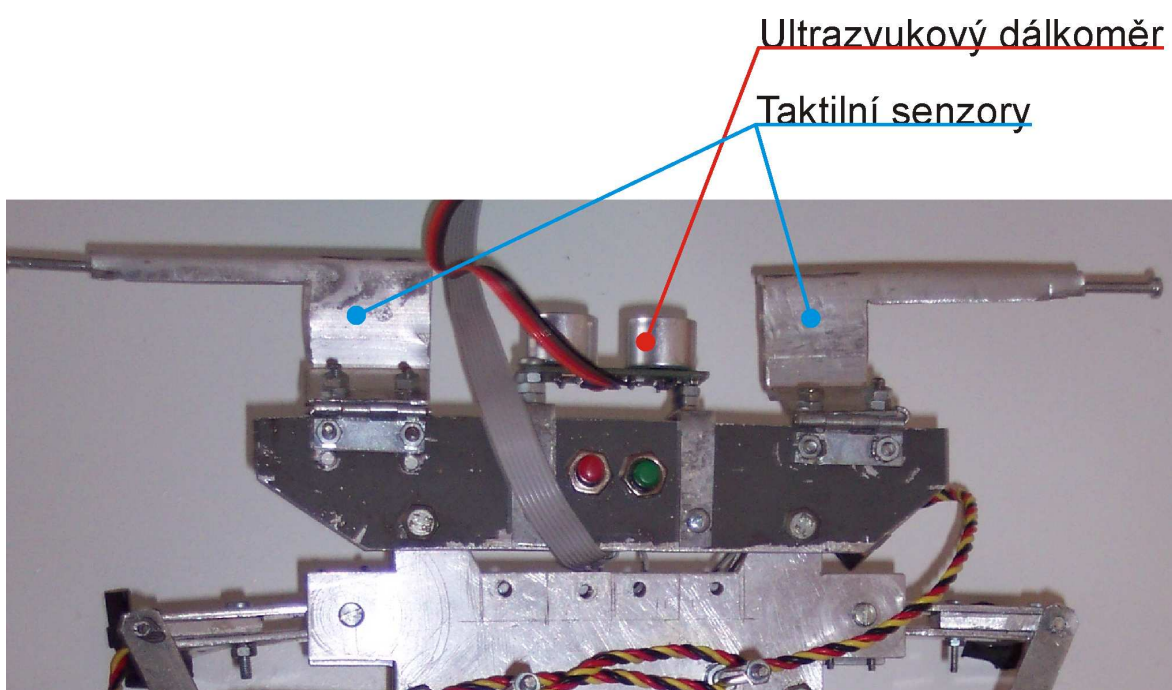
Obrázek 10: Akumulátor

výstupním napětím 9,6V a hmotností 360g. Protože je robot schopen odebírat proud až 2200mA, nevydrží akumulátory dlouho. Bylo by lepší použít Li-Pol akumulátor, který má kapacitu až 4200mAh a hmotnost 350g. Bohužel je oproti Ni-Mh akumulátoru mnohonásobně dražší. Ceny se pohybují kolem 2000Kč.

3 Senzorický systém

3.1 Použití a rozmístění senzorů

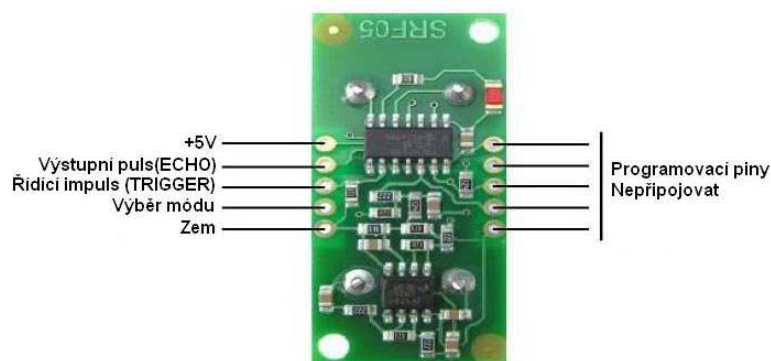
Všechny původní senzory robota byly odstraněny, protože nevyhovovaly novým požadavkům. Byly použity pouze mikropínače z taktilních čidel. Robot je nově vybaven dvěma taktilními čidly schopnými detekovat náraz při pohybu vpřed. Mezi čidly je umístěn ultrazvukový dálkoměr SRF05, který by měl robotu umožnit změření vzdálenosti od objektu. Všechny tyto senzory jsou umístěny na pomocné rampě na čele robota (obr. 11). Taktilní senzory jsou spínány k zemi a při sepnutí poskytují procesoru log 0.



Obrázek 11: Čelo se senzory

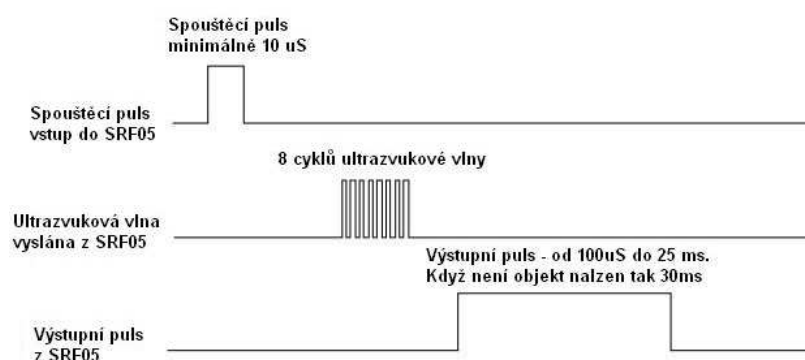
3.2 Ultrazvukový dálkoměr

Ultrazvukový dálkoměr má připojené čtyři piny. Napájení +5V, řídicí pin trigger, výstupní pin echo a zem (obr. 12).



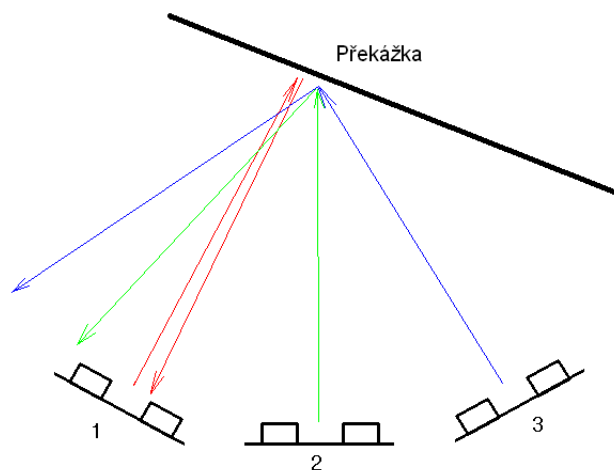
Obrázek 12: Zapojení pinů dálkoměru

Ke spuštění měření je třeba vyslat řídicí impuls o minimální délce $10\ \mu\text{s}$ úrovně 5V. Dálkoměr vyšle 8 period ultrazvukového signálu frekvence 40 KHz, výstupní signál přepne do vysoké úrovně +5V a čeká na příjem odraženého signálu. Po přijetí signálu přepne výstup do nízké úrovně. Když odražený signál nezachytí, je výstupní impuls ukončen po 30 ms. Průběhy signálů jsou patrné z obrázku (obr. 13).



Obrázek 13: Průběh řídicího impulsu a odezev dálkoměru

Vzdálenost od překážky se vypočte z šířky výstupního impulsu. Měříme-li šířku impulsu v μs , dosáhneme vzdálenosti v cm dělením šířky impulsu 58. Bohužel se ukázalo, že jeden dálkoměr je pro účinné měření málo, protože není schopen detekovat jinou překážku než kolmou, nebo jen mírně odchýlenou od kolmice k čelu robota. Mnohem vhodnější by byly tři o 30° vzájemně pootočené dálkoměry (obr. 14).

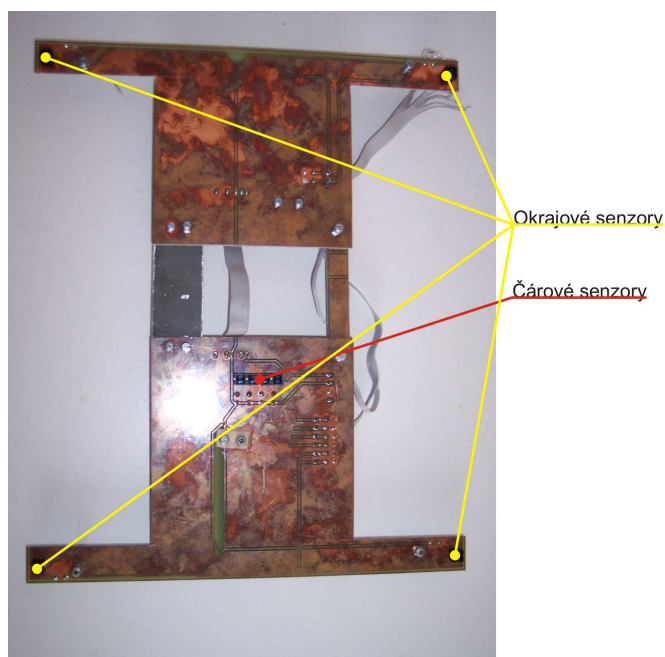


Obrázek 14: Odraz signálů pootočených dálkoměrů

Z obrázku je patrné, že by poskytly daleko lepší detekci překážek.

3.3 Optické senzory

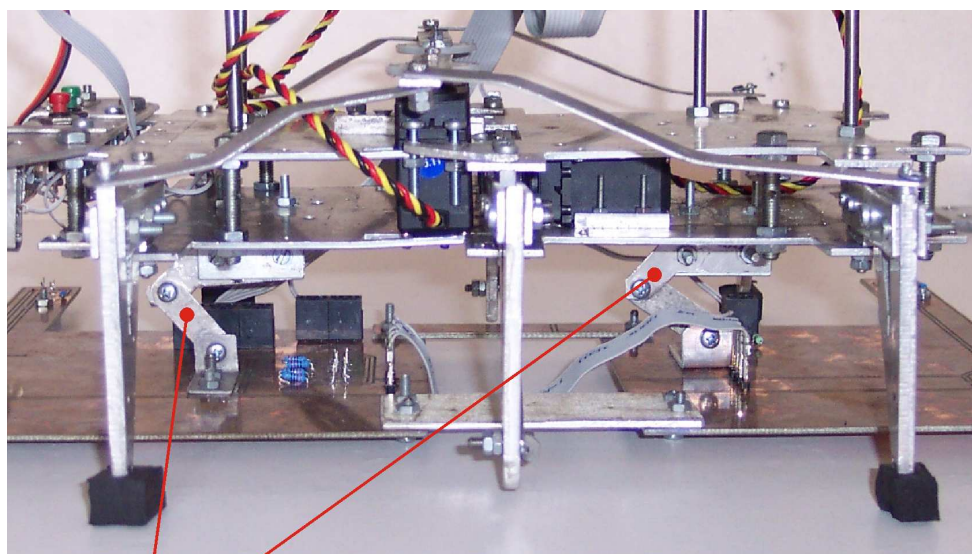
Dále je robot osazen senzorovou deskou (obr. 15) s osmi optosenzory CNY70.



Obrázek 15: Senzorová deska - strana senzorů

Čtyři senzory jsou rozmístěny v rozích desky. Ty detekují okraj podložky. Zbylé čtyři jsou umístěny ke středu robota a slouží k detekci čáry. Každý sensor má proudový odběr 100mA. Když je aktivních všech osm sensorů, tak velmi zatěžují akumulátor. Pro zadané úlohy není potřeba, aby bylo všech osm sensorů aktivních. Proto by bylo vhodné na sensorovou desku umístit přepínač mezi čárovými a okrajovými senzory, nebo řídit aktivitu sensorů přímo procesorem.

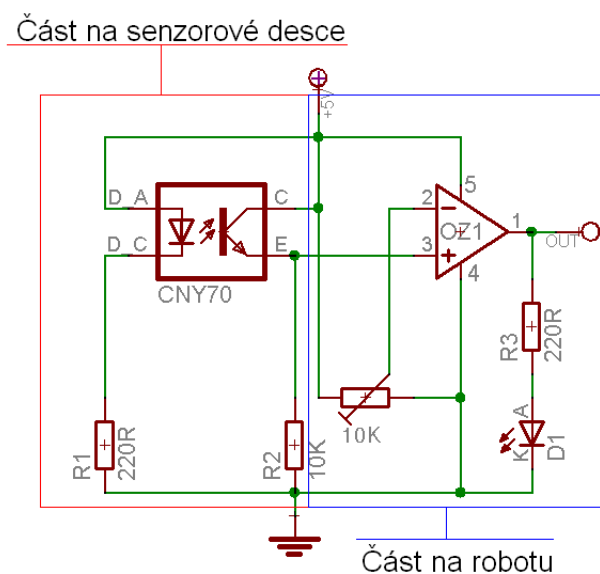
Deska je zavěšena pod robotem na dvou úchytech, které mají dva stupně volnosti (obr. 16), aby deska měla kontakt s podložkou i při naklánění robota. Deska



Zavěšení sensorové desky

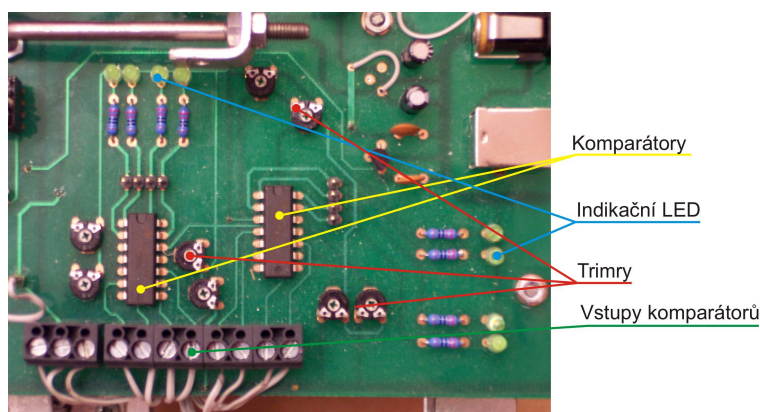
Obrázek 16: Zavěšení sensorové desky

se dotýká podložky osmi body kvůli snížení tření o podložku a je robotem tažena. Robot tedy překonává pouze její tření o podložku, takže servomotory nejsou deskou pretěžovány. Sensorová deska byla navržena jako jeden kus, ale kvůli technologickému omezení ve výrobě je rozdělena na dvě části a sešroubována (obr. 15). Signál od každého optosenzoru je vyhodnocován operačním zesilovačem (dále OZ), který je zapojen jako napěťový komparátor (obr. 17).



Obrázek 17: Zapojení OZ jako komparátoru

Komparátory jsou umístěny na základní desce, aby byl dobrý přístup k trimrům, kterými se nastavuje překlápěcí napětí (obr. 18). Výstup z každého komparátoru



Obrázek 18: Trimry pro nastavení citlivosti komparátorů

indikuje LED dioda, takže se dá citlivost komparátorů pouhým okem přizpůsobit různým druhům povrchu. Signál pro procesor poskytují komparátory a má hodnotu log 0 nebo log 1. Signál je tedy vyhodnocován digitálně a nezatěžujeme procesor vzorkováním analogového signálu. Pro okraj podložky platí: log 1 = senzor mimo podložku, log 0 = senzor na podložce. Pro sledování čáry platí: log 0 = senzor na čáře, log 1 = senzor mimo čáru.

4 Kognitivní systém

4.1 Krátký popis procesoru

Robot je řízen mikroprocesorem C8051F410 od společnosti SiliconLaboratories. Jeho parametry udávané výrobcem:

- vysokorychlostní (až 50 MIPS) zřetězený(pipelined) mikrokontrolér kompatibilní s jádrem 8051
- vnitřní debugovací rozhraní
- 12-bitový 200 ksps ADC s analogovým multiplikátorem a 24-mi analogovými vstupy
- dva 12-bitové DAC s proudovým výstupem
- programovatelný 24.5 MHz vnitřní oscilátor
- 32 kB bytů paměti flash
- 2304 bytů RAM
- SMBus/I2C, rozšířený UART, hardwarové rozhraní SPI
- čtyři víceúčelové 16-bitové časovače
- programovatelné pole čítačů/časovačů (PCA) s šesti vzorkovacími/porovnávacími moduly a funkcí časovače Watchdog
- hardwarové smaRTClock (hodiny reálného času), které fungují až do poklesu napětí na 1V a mají 64 bitovou záložní RAM
- záložní napěťový regulátor
- vnitřní reset při připojení k napájení, sledovač napájecího napětí a teplotní sensor
- vnitřní napěťové komparátory
- až 24 I/O portů

4.2 Napájení procesoru

K napájení procesoru je potřeba stabilizované napětí v rozsahu 2 - 2,75V pro jádro a 2 - 5,25V pro I/O porty. Je možné použít interní stabilizátor, ale ten napájí pouze jádro.

K napájení jádra je použit zdroj referenčního napětí LM285Z-2,5 s pevným výstupním napětím +2,5V. I/O porty jsou napájeny stabilizovaným napětím +5V, protože servomotory i ultrazvukový dálkoměr mají řídicí napětí v této úrovni. Při použití síťového adaptéru je napětí pouze filtrováno dvěma kondenzátory, protože adaptér má na výstupu pevné napětí 5,12V a I/O porty mohou být napájeny až +5,25V. Při napájení z akumulátorů obstarává potřebné napětí stabilizátor KA78T05 s proudovým zatížením až 3A.

4.3 Programování procesoru

Procesor se programuje pomocí programátoru od společnosti SiliconLaboratories, který stačí zasunout do konektoru na desce a nastavit debugovací rozhraní C2. Programátor existuje v provedení pro sériový port i USB. Pro vytvoření softwaru bylo použito prostředí Silicon IDE.

4.4 Časovače a jejich použití

Procesor disponuje čtyřmi časovači Timer0 až Timer3. Každý z nich může pracovat jako jeden šestnáctibitový nebo dva osmibitové s automatickým restartem a může být zdrojem přerušení. Časovače 0 a 1 mohou pracovat i jako třináctibitové. Registry pro nastavení časovačů:

- CKCON - je společný všem časovačům a nastavuje jejich zdroj hodinového signálu.

Časovače 0 a 1

- TCON - zapnutí/vypnutí časovačů, nastavení přerušení
- TMOD - mód časovačů a zdroj pro inkrementování hodnoty časovače

Časovač 2

- TMR2CN - zapnutí/vypnutí, nastavení přerušení, mód časovače
- TMR2RLL - nižší byte hodnoty pro restart časovače
- TMR2RLH - vyšší byte hodnoty pro restart časovače

Časovač 3

- TMR3CN - zapnutí/vypnutí, nastavení přerušení, mód časovače
- TMR3RLL - nižší byte hodnoty pro restart časovače
- TMR3RLH - vyšší byte hodnoty pro restart časovače

Použity jsou pouze dva časovače. Timer3 a Timer0 v šestnáctibitovém režimu. Oba dva po přetečení generují požadavek přerušení. Přerušení od Timer3 má vyšší prioritu než Timer0, a proto je použit pro generování PWM k řízení servomotorů. Přerušení vyvolané od Timer0 je použito pro kontrolu stavu tlačítka start/stop a taktilních senzorů robota.

Z registrů časovačů je patrné, že se dá nastavit hodnota, při které se časovač restartuje a vyvolá přerušení. Pro řízení servomotorů PWM je vhodné, aby se přerušení vyvolalo každých 0,5 ms (2 KHz). Při rychlosti čítání časovače 24,5 MHz a 16ti bitovém módu je hodnota v registru pro restart časovače $= 65536 - 24500 = 41036$ pro 1 ms. Pro 0,5 ms $= 20518$. Nakonec byl registr ponechán na hodnotě 0 a PWM odladěno pomocí osciloskopu, protože časovače ignorovaly hodnotu v registru.

4.5 Přerušení

Zdroje přerušení jsou definovány v registru EIE1. Jsou použity pouze dva zdroje a to od časovače 0 a 3.

4.6 I/O porty

Procesor disponuje dvaceti čtyřmi I/O porty P0.0 až P2.7. Celkem jich je využito 14 a jejich nastavení se provádí následujícími registry:

- XBR0 - definuje, zda bude pinu přiřazena jemu příslušná speciální funkce (např. komparátor, výstup z oscilátoru, SPI, ...) nebo jestli bude jen I/O
- XBR1 - jako XBR0 a povolení závory (crossbar)
- P0MDIN - vstupní porty P0.x
- P0MDOUT - výstupní porty P0.x
- P1MDIN - vstupní porty P1.x
- P1MDOUT - výstupní porty P1.x
- P1SKIP - ignorované piny P1.x
- P2MDIN - vstupní porty P2.x
- P2MDOUT - výstupní porty P2.x
- P2SKIP - ignorované piny P2.x

Použití a nastavení portů je uvedeno v tabulce 1

Port	Analog/Digital	Vstup/Výstup	Použití
P0.0	digital	vstup	senzor čáry 1
P0.1	digital	vstup	senzor čáry 2
P0.2	digital	vstup	senzor čáry 3
P0.3	digital	vstup	senzor čáry 4
P0.4	digital	vstup	senzor okraje pravý zadní
P0.5	digital	vstup	senzor okraje levý zadní
P0.6	digital	vstup	senzor okraje pravý přední
P0.7	digital	vstup	senzor okraje levý přední
P1.0	analog	vstup	tlačítko on/off
P1.1	analog	vstup	tlačítko volba úlohy
P1.2	analog	vstup	taktilní senzor levý
P1.3	analog	vstup	taktilní senzor pravý
P1.4	digital	výstup	servomotor střední
P1.5	digital	výstup	servomotor pravý
P1.6	digital	výstup	servomotor levý
P1.7	—	—	—
P0.0	digital	výstup	řídící pin dálkoměru (trigger)
P0.1	digital	vstup	výstup z dálkoměru (echo)
P0.2	—	—	—
P0.3	—	—	—
P0.4	—	—	—
P0.5	—	—	—
P0.6	—	—	—
P0.7	—	—	—

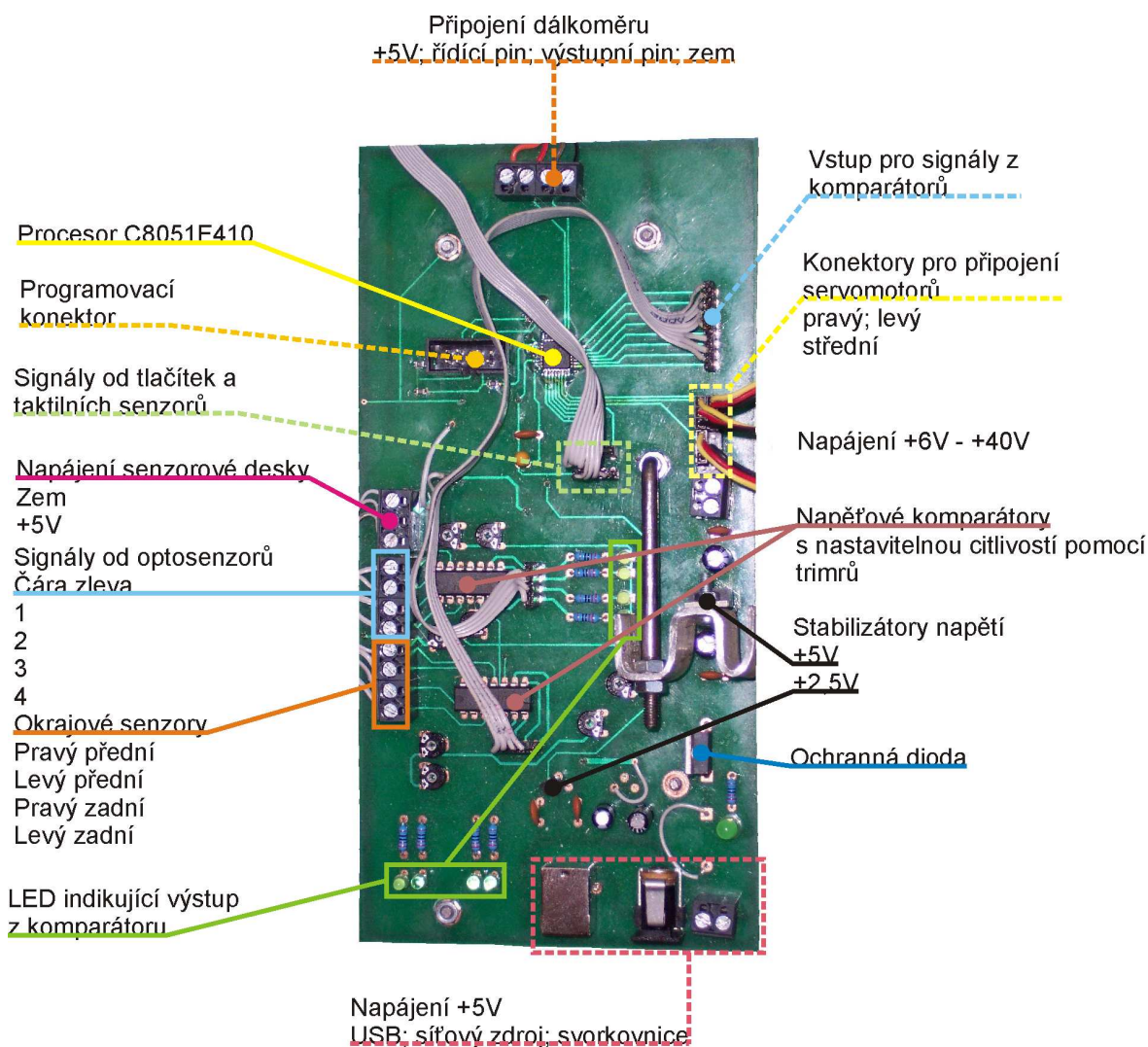
Tabulka 1: Použití I/O portů

4.7 Vnitřní oscilátor

Oscilátor a systémové hodiny (SYSCLK) se nastavují v registru OSCICN. Vnitřní oscilátor musí být v tomto registru povolen, protože frekvence systémových hodin se odvozuje od jeho frekvence a bez zdroje hodinového signálu nemůže procesor fungovat. Aktuální nastavení je na frekvenci 24,5MHz.

4.8 Základní deska robota

Na následujícím obrázku je popsána základní deska a ukázáno připojení všech periférií.



Obrázek 19: Základní deska robota

5 Úlohy pro robota

5.1 Úloha vyhýbání překážkám

5.1.1 Podmínky pro úspěšné provedení úlohy

Robot je schopen se autonomně pohybovat v prostoru s jednoduchými překážkami, které jsou dostatečně vzdáleny od sebe. Protože je použit jen jeden ultrazvukový dálkoměr, robot není schopen včas rozlišit překážku, která je od kolmice k jeho čelu odchýlena více jak cca 5° . Rozezná ji až nárazem taktilním senzorem. Stejně tak není schopen změřit velikost mezery mezi překážkami a jestli mezerou dokáže projít. To rozhodnou až taktilní senzory.

Pohybuje-li se robot na vyvýšené podložce, dokáže rozpoznat její okraj a při vykonávání úlohy z ní nespadnout. Protože robot nemá na zádi senzory, nedokáže rozpoznat překážky při couvání. Vychází se z předpokladu, že malý prostor za robotem je vždy prázdný.

Protože není použit akcelerometr, nejsou kroky a otáčení robota měřeny. Díky tomuto problému robot není schopen vytvářet vnitřní model prostředí. Může se tedy stát, že se robot ocitne stranou vedle překážky, kterou již předtím obešel a nebude ji schopen detekovat. Vzhledem k těmto faktům je potřeba prostor trochu přizpůsobit možnostem robota. Ze stejného důvodu byly vytvořeny dvě verze úlohy.

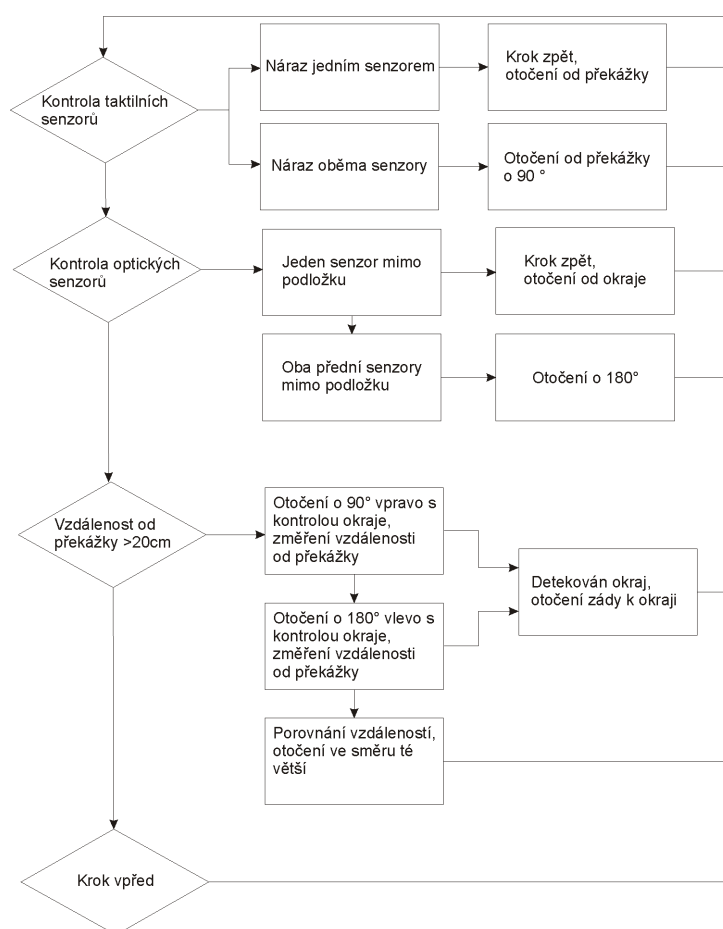
5.1.2 Popis první verze úlohy

Úloha se spustí stiskem tlačítka Start/Stop. Je to červené tlačítko na čele robota. Robot zkontroluje stavy všech sensorů a vyhodnotí, je-li blízko překážka nebo se nachází na okraji stolu. Když je vše v pořádku, provede se krok vpřed a opět se opakuje vyhodnocení stavu sensorů.

- Detekován okraj podložky jedním senzorem: Robot se vrátí o krok zpět a provede otočení od okraje podložky.
- Detekován okraj podložky oběma předními sensory: Robot odcouvá čtyři kroky zpět a otočí se o 90° .

- Dálkoměrem změřena vzdálenost od překážky menší než 20 cm: Robot začne vyhledávat prostor, kudy překážku obejde. Otočí se o 90° vpravo a změří vzdálenost. Poté se otočí o 180° a opět změří vzdálenost. Změřené vzdálenosti porovná a vydá se ve směru té větší. Při vyhledávání prostoru stále kontroluje okraj podložky. Když při otáčení detekuje okraj, vydá se bez měření na opačnou stranu od okraje.
- Náraz taktilním senzorem: Proveďte se krok zpět a otočení od překážky.

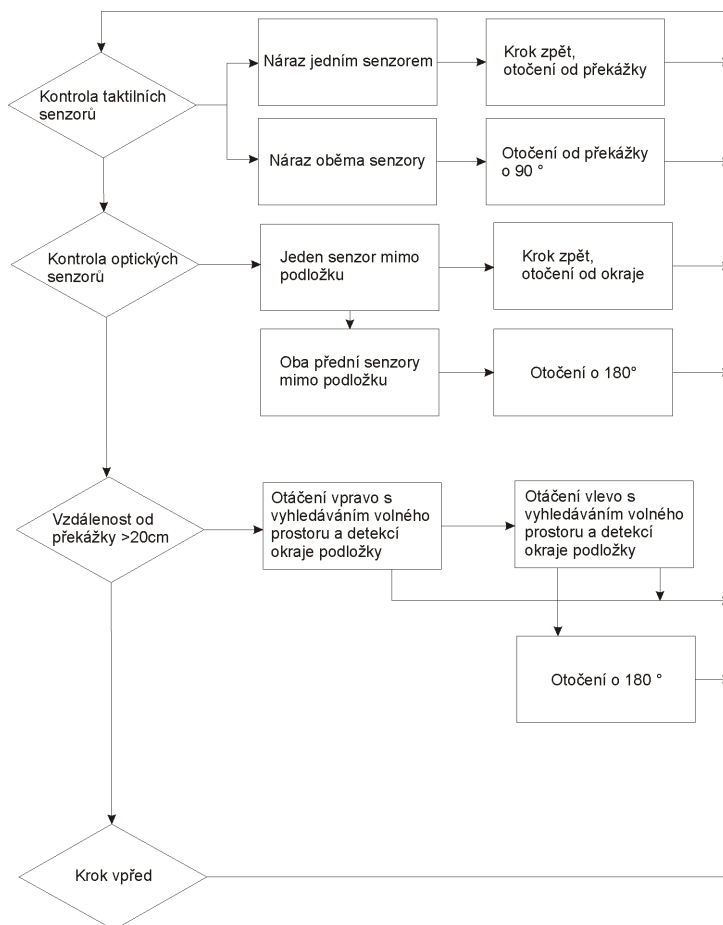
Takto je robot schopen postupně procházet celou podložku. Chování robota je patrné z vývojového diagramu (obr. 20).



Obrázek 20: Vývojový diagram první verze úlohy

5.1.3 Popis druhé verze úlohy

Chování robota je téměř totožné, jako v předchozí verzi. Rozdíl je pouze ve vyhledávání volného prostoru pomocí dálkoměru. Bude-li robot od překážky vzdálen méně než 20 cm, začne se otáčet vpravo. Současně s otáčením měří délku volného prostoru před sebou a kontroluje senzory okraje podložky. Robot se bude otáčet tak dlouho, dokud před sebou nenajde dostatečně velký volný prostor a nebo dokud nedetekuje okraj podložky. Pokud bude prostor nalezen, robot pokračuje v pohybu vpřed. Při detekování okraje podložky se začne otáčet vlevo. Jestliže robot detekuje okraj podložky i při otáčení vlevo, odcouvá od překážky a pokusí se otočit o 180°. Když bude prostor pro otočení moc úzký, robot se zastaví, protože při dalším couvání není jisté, zda je za robotem volný prostor. Vývojový diagram této verze (obr. 21).



Obrázek 21: Vývojový diagram druhé verze úlohy

5.1.4 Porovnání obou verzí

První verze požaduje velkou přesnost otáčení robota a to nelze bez gyroskopu zaručit. Při správném otáčení je robot schopen najít cestu ven i z pravoúhlé místnosti s jedním východem. V druhé verzi toho již robot schopen není a bude chodit pořád dokola. To je způsobeno tím, že je implicitně nastaveno otáčení vpravo po detekování překážky. Pomohl by náhodný výběr směru otáčení, nebo zaznamenání předchozího směru otáčení, aby se směry střídaly. Ale ani tak není zcela zaručeno, jestli robot cestu ven najde.

5.2 Úloha sledování čáry

5.2.1 Podmínky pro úspěšné provedení úlohy

Jediné dvě podmínky jsou dodržení šířky sledované čáry a výrazně tmavší barva čáry oproti podložce. Ta musí být široká nejméně jako sledovací senzory, tj. přibližně 5 cm.

5.2.2 Popis úlohy

Jak již bylo řečeno v kapitole Senzorický systém, jsou pro tuto úlohu použity čtyři optosenzory CNY70, které jsou umístěny na sensorové desce pod robotem. Při řízení robota se v této úloze vychází z vyhodnocení všech stavů senzorů, které mohou nastat. Stavů jsou uvedeny v tabulce 2

1	2	3	4	Stav
0	0	0	0	robot mimo čáru
0	0	0	1	robot téměř mimo čáru vlevo
0	0	1	0	nemůže nastat
0	0	1	1	robot sjel z poloviny šířky čáry vlevo
0	1	0	0	nemůže nastat
0	1	0	1	nemůže nastat
0	1	1	0	nemůže nastat
0	1	1	1	robot sjíždí z čáry vlevo
1	0	0	0	robot téměř mimo čáru vpravo
1	0	0	1	nemůže nastat
1	0	1	0	nemůže nastat
1	0	1	1	nemůže nastat
1	1	0	0	robot sjel z poloviny šířky čáry vpravo
1	1	0	1	nemůže nastat
1	1	1	0	robot sjíždí z čáry vpravo
1	1	1	1	robot kolmo na čáře

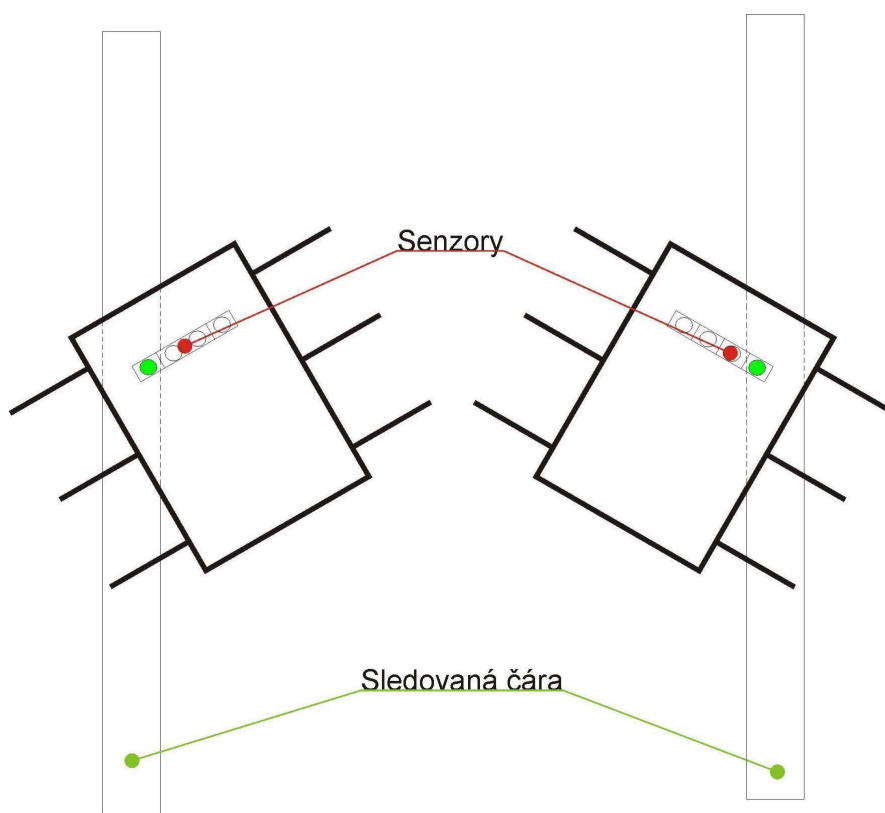
Tabulka 2: Stavy čárových senzorů

Podle těchto stavů se určuje poloha robota vůči čáře a jeho následné chování.
Příklad:

1;1;1;1 robot na čáře - pokračuje v pohybu vpřed

1;1;1;0 robot sjíždí z čáry vpravo - otočení o krok vlevo

Původní myšlenka sledování byla založená na čáře široké jako jsou dva senzory vedle sebe. Při této variantě docházelo k tomu, že robot byl při stavu senzorů 1;0;0;0 a 0;0;0;1 pokaždé jinak natočen k čáře (obr. 22) a tudíž nebylo možné robota správně řídit. Po zesílení čáry tak, aby pokryla všechny senzory, byl tento problém odstraněn.



Obrázek 22: Ukázka stejného stavu senzorů při různých polohách robota

6 Závěr

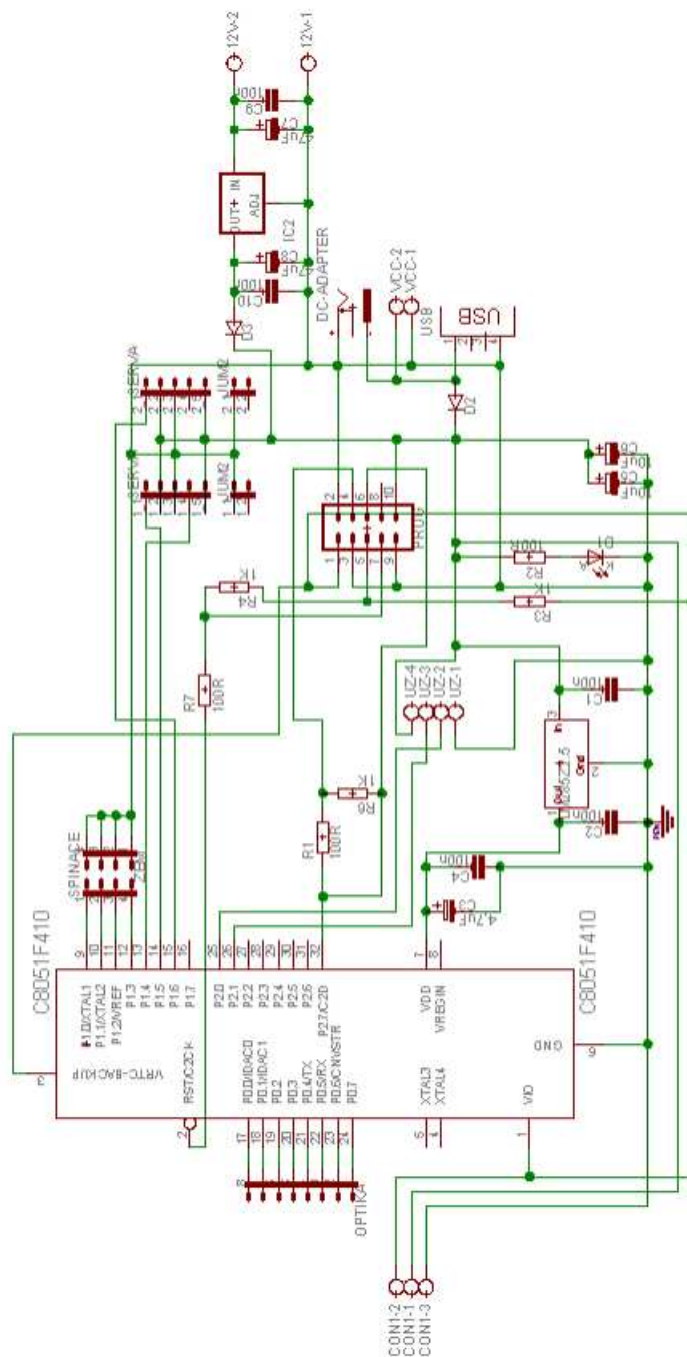
Úkolem práce bylo přepracovat robota tak, aby byl schopen nést vlastní zdroj energie, plnil úlohu sledování čáry a vyhýbal se překážkám. Po úpravě mechaniky je robot schopen nést přibližně 500g zátěže, takže bez problémů unese akumulátory o značné kapacitě. O tom, jak dlouho dokáží akumulátory udržet robota v chodu, rozhoduje jen ochota investovat do dražších akumulátorů.

Pomocí použitých senzorů a řídicího systému robot dokáže plnit obě zadané úlohy v plném rozsahu. Navíc byly prozkoumány možnosti ultrazvukových senzorů při detekci překážek a využití optických senzorů k zabránění pádu z pracovní desky.

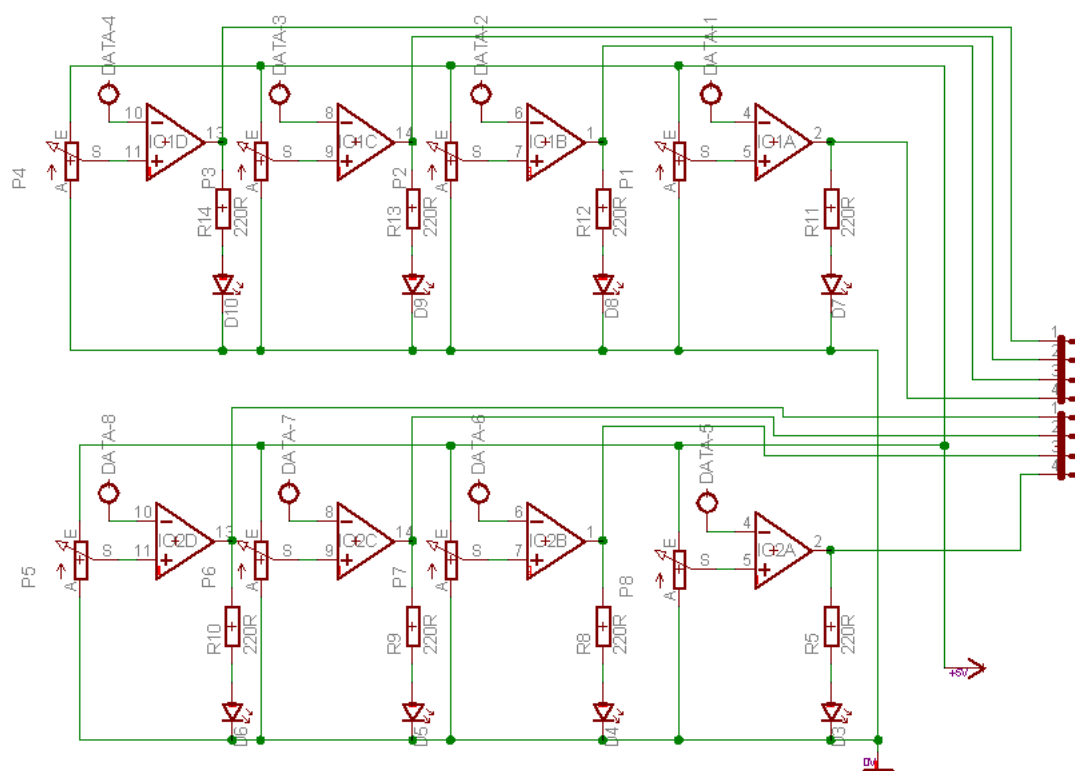
Možným pokračováním této práce je zavedení zpětné vazby od pohonů nohou, případně vytvořit mechaniku, která umožní plynulejší pohyb nebo i překonání lehkého terénu. Použitím více ultrazvukových senzorů v kombinaci s akcelerometrem by robot mohl vytvářet vnitřní model prostředí. Úloha vyhýbání se překážkám by tak měla mnohem větší možnosti a robot by dokázal projít mnohem členitějším prostředím.

7 Přílohy

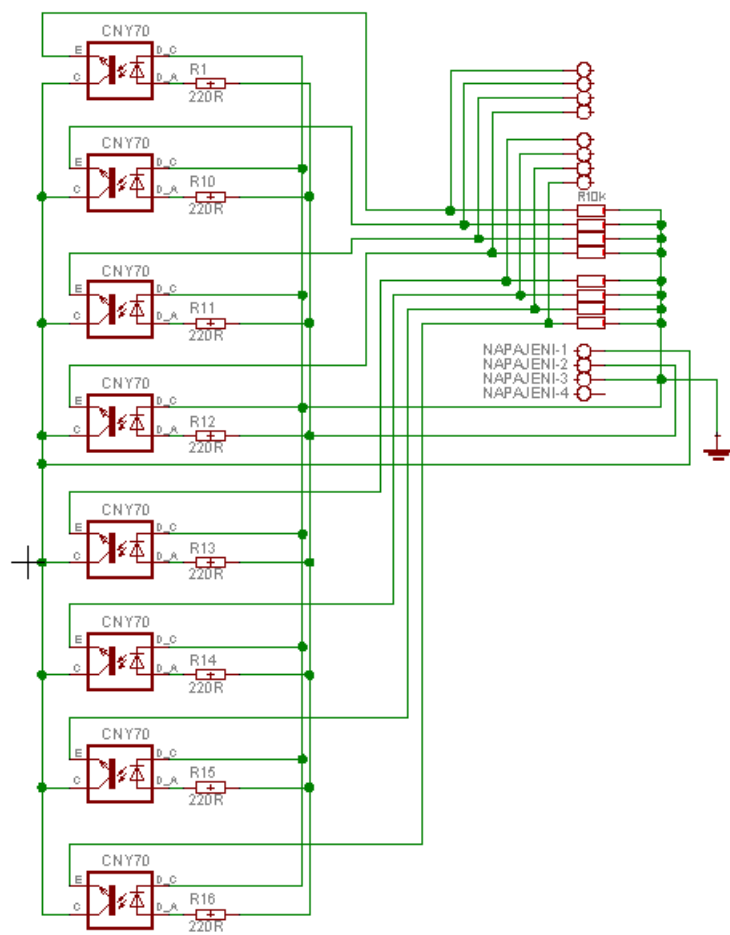
7.1 Schemata



Obrázek 23: Schema řídicího systému

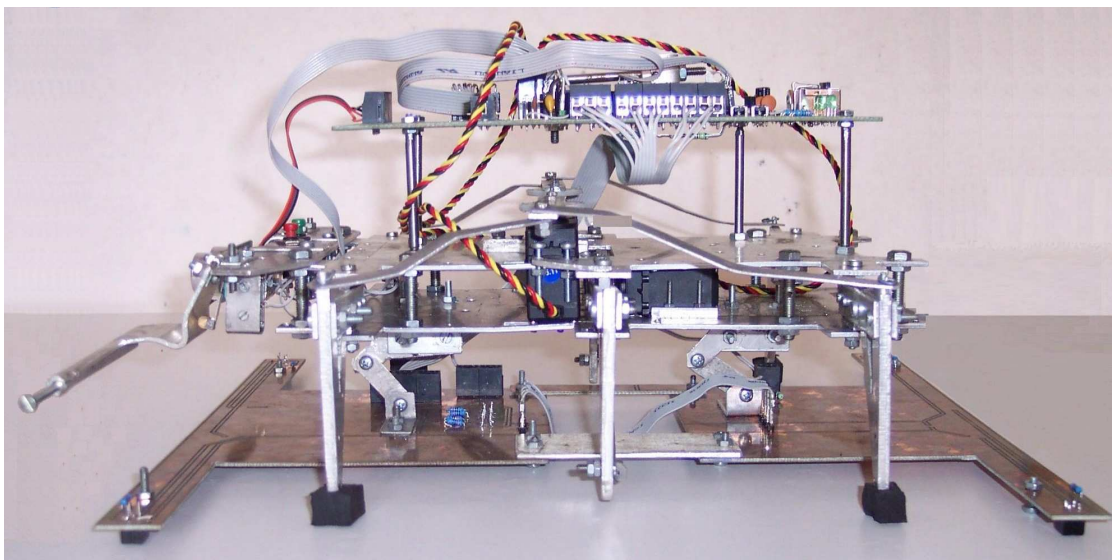


Obrázek 24: Schema vyhodnocovací elektroniky

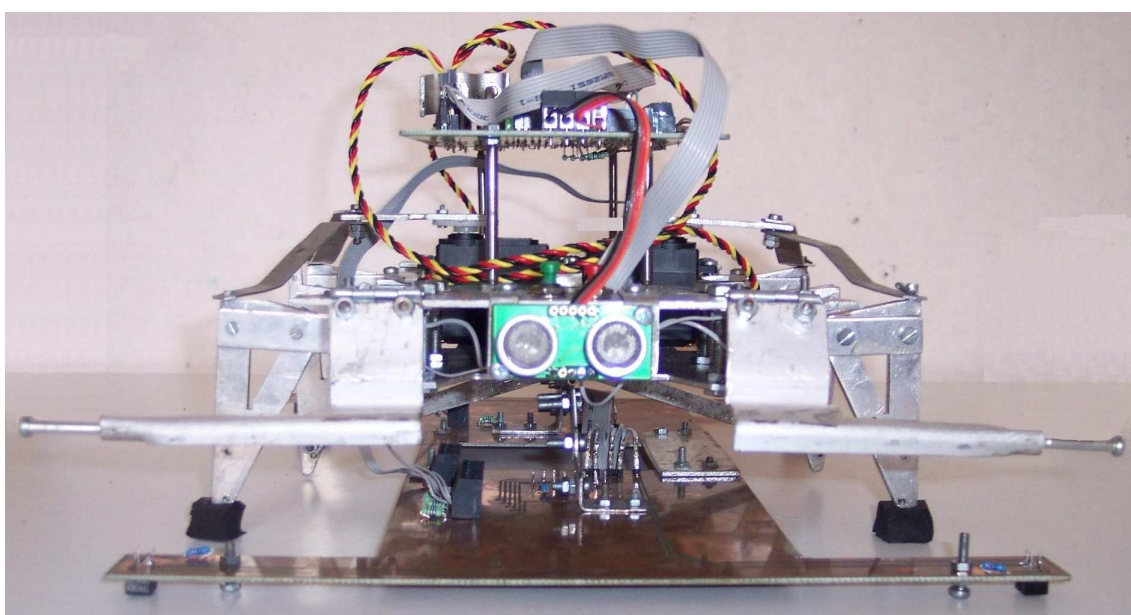


Obrázek 25: Schema sensorové desky

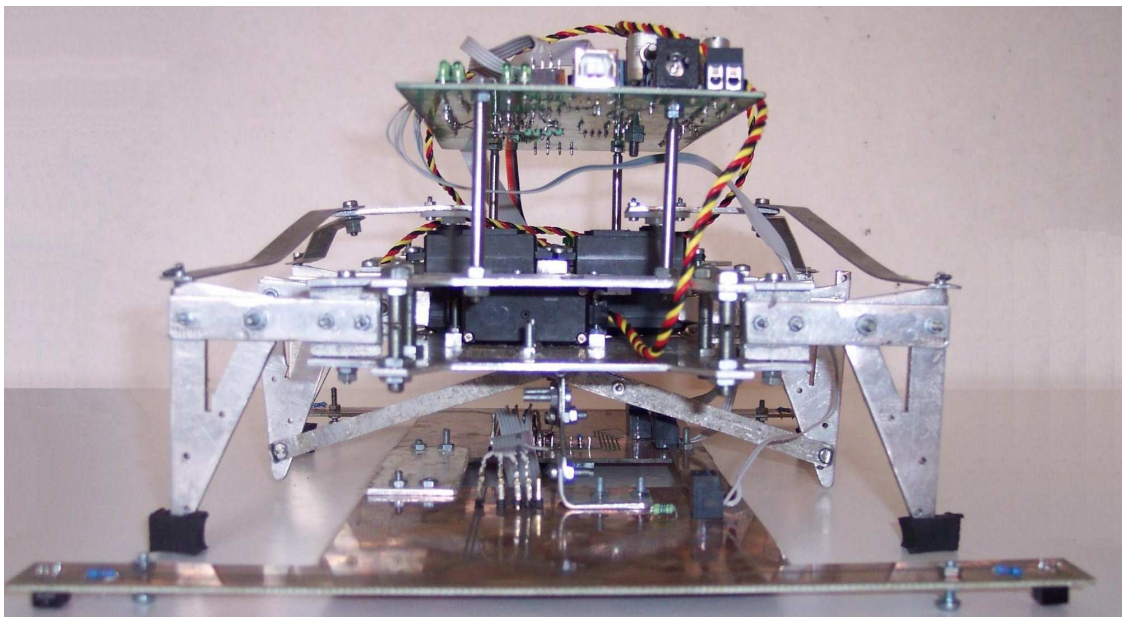
7.2 Kompletní robot



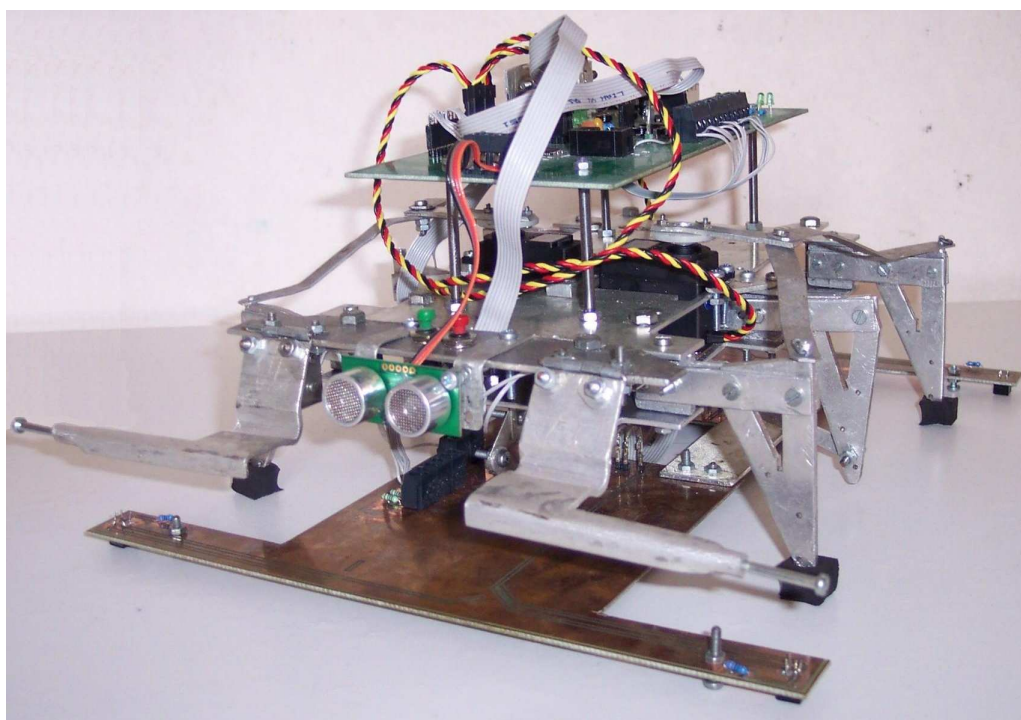
Obrázek 26: Robot ze strany



Obrázek 27: Robot zepředu



Obrázek 28: Robot zezadu



Obrázek 29: Pohled na kompletního robota

7.3 Příloha na CD

CD obsahuje návrh desek plošných spojů, zdrojový kód programů jednotlivých úloh, datové listy použitých součástek, tuto práci ve formátu PDF a její zdrojový kód pro TECH. Dále obsahuje kompletní fotodokumentaci, videosekvence vykonávání úloh ve formátu MOV a QuickTime pro přehrávání souborů MOV.

Reference

- [1] RYBIČKA, J. *L^AT_EX pro začátečníky*. Brno: Konvoj, 1995. ISBN 80-85615-42-8
- [2] POLÁCH, E. *Pravidla sazby diplomových prací*. České Budějovice, Pedagogická fakulta Jihočeské univerzity, 1998. [online]. [cit. 2007-03-31],
URL: <http://www.pf.jcu.cz/~edpo/pravidla/pravidla.html>
- [3] PLÍVA, Z. A KOL. *Metodika zpracování diplomových, bakalářských a vědeckých prací na FM TUL*. Liberec: FM TUL, 2006. [online]. [cit. 2007-03-31],
URL: http://www.fm.tul.cz/htm/fakulta/pdf/jak_psat_DP.pdf
- [4] HOBBYROBOT
URL: <http://www.hobbyrobot.cz>
- [5] ROBOTIKA.CZ
URL: <http://www.robotika.cz>
- [6] KATALOG SOUČÁSTEK GM ELECTRONIC
URL: <http://www.gme.cz>